

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

**Vysokotlaké a velkoobjemové chlazení a jeho
vliv na proces obrábění**

**Highpressure and Bulk Volume Cooling and its
Influence on Cutting Operation**

Student: Pagáč Marek
Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jaromír Adamec, Ph.D.

Ostrava 2009

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo na nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst.3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Adresa trvalého pobytu studenta:

Jesenická 24/789

Bruntál

PSČ: 792 01

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

PAGÁČ, Marek. *Vysokotlaké a velkoobjemové chlazení a jeho vliv na proces obrábění*. Ostrava: katedra obrábění a montáže, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2008, 52 s. Bakalářská práce, vedoucí: ADAMEC Jaromír.

Bakalářská práce se zabývá řezným prostředím s využitím vysokotlakého a velkoobjemového chlazení. V úvodu je proveden rozbor oblasti teploty v místě řezu, významu chlazení, druhu procesních médií a požadavků na procesní média. Dále je popsán princip standardního chlazení a uvedení nežádoucích vlivů, které při standardním chlazení vznikají. Na základě technologie výroby byly navrženy vhodné řezné nástroje, příslušné řezné podmínky a byly provedeny zkoušky obrábění při využití vysokotlaké chladicí jednotky. Závěrem bakalářské práce je porovnání vlivu vysokotlakého chlazení a standardního chlazení na opotřebení nástrojů.

ANNOTATION OF THESIS

PAGÁČ, Marek. *Highpressure and Bulk Volume Cooling and its Influence on Cutting Operation*. Ostrava: Department of Working and Assembly , Faculty of Mechanical Engineering VŠB – Technical University of Ostrava, 2008, 52 p. Thesis, head: ADAMEC Jaromír.

The bachelor work is engaged in cutting background with utilization of the high-pressure and the large-volume cooling. At the beginning is the analysis of temperature in a place of cut, importance of cooling, type of process mediums and medium requirements. In the following part is described the principle of the standard cooling and presentation of undesirable factors, which accrue from cooling. Following this production technology the suitable cutting tools and the appropriate cutting conditions are proposed. The tests of cutting by using the high-pressure cooling unit are made. The last task of this work is the comparison of influence of the high-pressure and the standard cooling on tool wear.

Obsah

Seznam použitých symbolů a značek	8
1 Úvod.....	9
2 Teplota v místě řezu.....	10
3 Význam chlazení při obrábění	11
4 Technologické požadavky na procesní média	12
4.1 Chladicí účinek.....	12
4.2 Mazací účinek	12
4.3 Čistící účinek	13
4.4 Provozní stálost.....	13
4.5 Ochranný účinek	13
4.6 Zdravotní nezávadnost	14
4.7 Přiměřené provozní náklady.....	14
5 Procesní kapaliny.....	15
5.1 Druhy procesních kapalin.....	15
5.1.1 Vodní roztoky	15
5.1.2 Emulzní kapaliny	15
5.1.3 Zušlechťené řezné oleje.....	16
5.1.4 Syntetické a polosyntetické kapaliny	17
6 Přívod procesní kapaliny do místa řezu	18
6.1 Standardní chlazení	18
6.2 Tlakové chlazení.....	18
6.3 Podchlazování procesní kapaliny	18
6.4 Chlazení řeznou mlhou	19
6.5 Vnitřní chlazení.....	19
7 Rozbor stávajícího způsobu standardního chlazení.....	23
7.1 Nežádoucí vlivy nízkotlakého chlazení.....	23
7.2 Eliminace nežádoucích vlivů standartního nízkotlakého chlazení	23
8 Vysokotlaké a velkoobjemové chlazení.....	24
8.1 Tvar trysky a její vliv na vysokotlaké a velkoobjemové chlazení.....	24
8.2 Správně nasměřovaný proud chladicí kapaliny	25
9 Vliv vysokotlakého a velkoobjemového chlazení na procesy obrábění.....	28
9.1 Soustružení.....	28
9.2 Frézování.....	29
9.3 Vrtání.....	30
10 Doporučené parametry pro vysokotlaké chlazení.....	31
11 Nástrojové držáky pro chlazení vysokým tlakem	33

12	Stálé a proměnlivé nastavení průtoku	34
13	Filtrování a magnetická separace třísek.....	36
14	Odsávání par.....	37
15	Porovnání vlivu vysokotlakého a nízkotlakého chlazení na procesech obrábění	38
15.1	Zkouška vrtání.....	38
15.1.1	Vyhodnocení testu vrtání	39
	Doplňující test – vrtání „na smrt” vrtáku.....	39
15.2	Zkouška frézování.....	42
15.2.1	Vyhodnocení testu frézování	43
16	Vysokotlaká chladicí jednotka.....	48
16.1	Chladicí jednotka ChipBlaster JV10	48
16.2	Standardní konfigurace jednotky JV10	48
	Závěr	50
	Použité zdroje	52
	Elektronické zdroje.....	52

Seznam použitých symbolů a značek

RO.....Rychlořezná ocel

SK..... Slinutý karbid

VBD..... Vyměnitelná břitová destička

pH.....Kyselost

 a_p Hloubka řezu

[mm]

 pTlak

[MPa]

 tTeplota

[°C]

 f_z Posuv na zub

[mm]

 nOtáčky[min⁻¹] vRychlost[m·s⁻¹] v_cŘezná rychlost[m·min⁻¹] v_f Posuvová rychlost[mm·min⁻¹]

1 Úvod

Řezné prostředí v zóně řezání má významný vliv na kvantitativní, kvalitativní a ekonomické parametry řezného procesu. Toto prostředí tvoří řezná média, jejímž cílem je především chladicí účinek. Nejčastějším používaným chlazením je standardní nízkotlaké chlazení. To má však určité nežádoucí vlivy, které mají za důsledek snížení životnosti nástrojů, horší jakost obrobenej plochy a nedostatečné odstraňování třísek s místa řezu. Vysokotlaké a velkoobjemové chlazení je jedno z možností, které eliminuje nežádoucí vlivy standardního chlazení. Mezi jednotlivými metodami chlazení jsou značné rozdíly a záleží především na technologovi, který danou metodu chlazení pro proces obrábění volí.

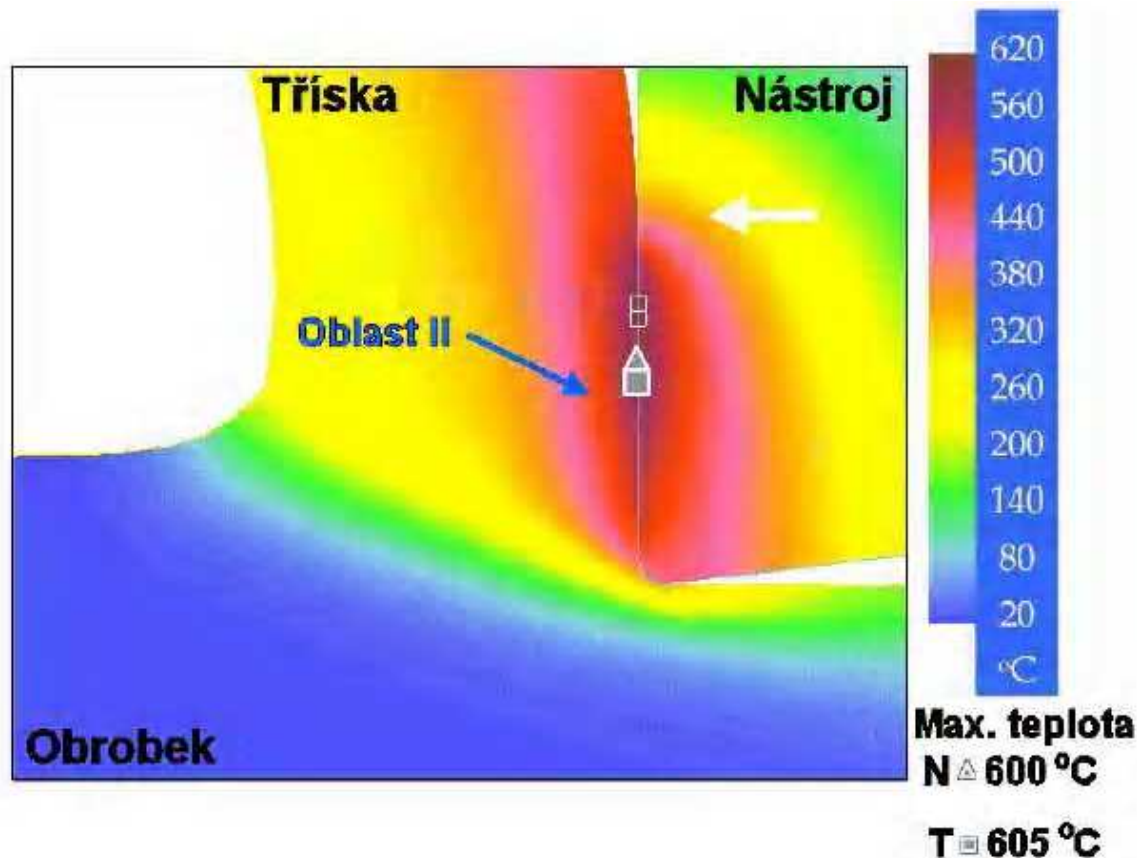
Volba způsobu technologie chlazení je přizpůsobována požadavkům na obrábění, použitým řezným nástrojům a řezným podmínkám, volbě obráběcího stroje a chladicí jednotky a ekologickým, estetickým a technickým aspektům. Také se využívá nových metod chlazení pro nové progresivní materiály umožňující obrábět za podmínek příznivějších pro uživatele.

Obsahová náplň této práce se zabývá eliminací nežádoucích vlivů vznikajících při standardním nízkotlakém chlazení. Úvodem je popsána oblast teploty v místě řezu a význam chlazení. Část práce popisuje druhy řezných kapalin, požadavky na řezná média a přívod řezných kapalin do místa řezu u stávající metody nízkotlakého chlazení. Dále jsou shrnuty výhody a nevýhody vysokotlakého a velkoobjemového chlazení. V závěru jsou provedeny zkoušky při využití vysokotlaké chladicí jednotky a porovnání standardního nízkotlakého chlazení a vysokotlakého chlazení na opotřebení nástrojů.

2 Teplota v místě řezu

Při obrábění kovů se až devadesát sedm procent energie přemění na teplo. Teplota v místě řezu dosahuje 650 až 800 °C. Při takto vysoké teplotě se každá běžná chladicí kapalina začne rychle měnit v páru, která začne bránit přísunu nové kapaliny. Kromě dalšího nárůstu teploty to má za následek zhoršení či úplnou ztrátu mazání, nárazy odlétávajících třísek do řezné hrany nástroje a poškození nástroje i celého obrobku. Konvenční chlazení navíc většinou nelze dobře nasměrovat a v některých případech až ve 40 % doby vůbec nezasahuje ani nástroj, ani obráběný díl.

Teplota v místě řezání je především závislá na kontaktu třísky a nástroje, velikosti řezných sil a třecích procesech mezi materiálem obrobku a břitem nástroje. Příklad teplotního pole obrobku, třísky a nástroje je uveden na obr. 1.1. Při obrábění nízkými řeznými rychlostmi je maximální teplota na špičce nástroje, při obrábění vyššími řeznými rychlostmi je maximální teplota v určité vzdálenosti od ostří nástroje. [1]



Obr. 1.1 Teplotní pole [1]

3 Význam chlazení při obrábění

Chladicí účinky mají značný význam, neboť převážná část příkonu obráběcího stroje se při obrábění přemění na teplo. To je odváděno převážně řeznou kapalinou a třískami (až 85 %), v menší míře obrobkem (do cca 15 %) a nástrojem (cca 5 - 10 %). Množství a rozdělení obráběcího tepla závisí na řadě faktorů. [1]

Obecně stoupají obráběcí teploty s rostoucí houževnatostí obráběného materiálu, řeznou rychlostí a řezným výkonem. Další důležité faktory představují geometrie nástroje, chlazení a mazání. Chladicí účinek závisí na řadě faktorů, především na množství procesní kapaliny přiváděné k řeznému nástroji za časovou jednotku, na rychlosti proudění, na tvaru a směru proudu procesní kapaliny vzhledem k místu řezu, na viskozitě, měrném teple a součiniteli tepelné vodivosti procesní kapaliny.

Největší chladicí a vyplachovací účinek mají chladicí a mazací látky mísitelné s vodou. Závisí na podmínkách obrábění, zda musí být kladen větší důraz na mazání, nebo chladicí účinek. Obecně platí, že mazání je v popředí u velkých průřezů třísek a nízkých řezných rychlostí a rovněž u prací, kde jsou vysoké požadavky na jakost povrchu. Vydatný odvod tepla je nezbytný především při vysokých řezných rychlostech a vysokých požadavcích na rozměrovou přesnost obrobků. [1]

4 Technologické požadavky na procesní média

4.1 Chladicí účinek

Chladicím účinkem se rozumí schopnost procesního média odvádět teplo z místa řezu. Tuto schopnost má každé médium, které smáčí povrch kovů, za předpokladu, že mezi povrchem obrobku a médiem existuje tepelný spád. Odvod tepla vzniklého při řezání se uskutečňuje tím, že procesní médium obklopuje nástroj, třísky i obrobek a přejímá část vzniklého tepla. Důsledkem chladicího účinku je snížení teploty řezání, což má příznivý vliv na opotřebení a trvanlivost nástroje, i na jakost povrchové vrstvy obrobené plochy. [1]

Chladicí účinek procesního média závisí na jeho smáčecí schopnosti, na výparném teple, rychlosti vypařování za určitých teplot, tepelné vodivosti, měrném teple a průtokovém množství. Čím budou tyto veličiny větší, tím bude chladicí účinek procesního média vyšší. Výparné teplo zvětšuje chladicí účinek, ale přílišné odpařování procesního média není žádoucí. [1]

4.2 Mazací účinek

Mazací účinek je umožněn tím, že médium vytváří na povrchu obrobku a nástroje vrstvu, která brání přímému styku kovových povrchů a snižuje tření, ke kterému dochází mezi nástrojem a obrobkem. Vzhledem k vysokým tlakům, které vznikají při řezání, nemůže zde dojít ke kapalnému tření. Může ale vzniknout mezní tření, má-li procesní médium velkou afinitu ke kovu, nebo váže-li se s materiálem obrobku chemicky, v mikroskopické povrchové mezní vrstvě. Mazací účinek znamená zmenšení řezných sil, zmenšení spotřeby energie a také zlepšení jakosti obrobeného povrchu. Mazací účinek procesního média se uplatní zejména u dokončovacích obráběcích operací, ale také při protahování, výrobě závitů nebo výrobě ozubení. [1]

Mazací schopnost procesního média je závislá na viskozitě a na pevnosti vytvořené mezní vrstvy. Negativní důsledkem vyšší viskozity je omezení průniku média mezi třecí plochy, zhoršení jeho proudění a snížení odvodu tepla. Viskóznější médium ve větším množství ulpívá na třískách, čímž dochází k jeho značným

ztrátám. Pevnost mazací vrstvy se zvyšuje přísadami povrchově aktivních látek, které napomáhají pronikání do trhlin deformovaného kovu a usnadňují tak vlastní proces řezání. [1]

4.3 Čisticí účinek

Čisticí účinek procesního média spočívá zejména v odstraňování třísek z místa řezu. Čisticí účinek je významný zejména při broušení (zlepšení řezivosti broušicího kotouče v důsledku vyplavování zanesených pórů, zabránění slepování částic třísky a usnadnění jejich usazování), řezání závitů nebo vrtání hlubokých děr. [1]

4.4 Provozní stálost

Měřítkem provozní stálosti procesního média je doba jeho výměny. Dlouhá doba mezi jednotlivými výměnami média je podmíněna tím, aby se jeho vlastnosti po celou tuto dobu neměnily. Stárnutí procesního média olejového typu se projevuje tvořením pryskyřičnatých usazenin, které mohou způsobit i poruchu stroje. Produkty stárnutí mají vliv i na zhoršování funkčních vlastností média, jeho rozklad, zmenšení mazacího účinku, ztrátu ochranných schopností, korozi a hnilobný rozklad. Provozní stálost procesního média závisí na jeho fyzikálních a chemických vlastnostech a na pracovní teplotě. [1]

4.5 Ochranný účinek

Ochranný účinek procesního média se projevuje tím, že nenapadá kovy a nezpůsobuje korozi. Tento požadavek je důležitý proto, aby nebylo nutné výrobky mezi jednotlivými operacemi konzervovat a aby byl obráběcí stroje chráněny před korozí. Pro zvýšení antikorozního účinku jsou do procesního média přidávány pasivační přísady. Dalším důležitým požadavkem je, aby procesní médium nerozpouštělo nátěry obráběcích strojů a nebylo agresivní vůči gumovým těsněním. [1]

4.6 Zdravotní nezávadnost

Požadavek na zdravotní nezávadnost procesního média vychází z toho, že při práci na obráběcích strojích s ním obsluhující pracovník přichází do přímého styku. Proto médium nesmí být zdraví škodlivé, nesmí obsahovat látky dráždící sliznici a pokožku, nesmí být jedovaté a nesmí zamořovat ovzduší nepříjemným zápachem. Jeho zdravotní nezávadnost závisí také na jeho provozní stálosti a čistotě. Přitom je nutné v provozu dbát na to, aby byla zajištěna základní hygienická opatření, jako je větrání (někdy je nutné, aby vznikající páry byly odsávány), umývání, preventivní ochrana pokožky a pod. [1]

4.7 Přiměřené provozní náklady

Přiměřené provozní náklady souvisí především se spotřebou procesního média. Při rozboru nákladů je nutné nejdříve posoudit jejich vliv na proces obrábění (průběh plastických deformací v zóně řezání, opotřebení, trvanlivost, ostření nebo výměna nástroje, změny struktury povrchu obrobené plochy, spotřeba energie). Po tomto rozboru musí následovat hodnocení procesního média s ohledem na jeho provozní stálost, spotřebu, výměnu a náklady na likvidaci. Jedině podrobný technicko-ekonomický rozbor může rozhodnout o vhodnosti určitého druhu procesního média. Hodnocení podle cenových rozdílů je sice jednoduché, ale zcela nedostačující, protože cena procesního média není tím hlavním parametrem, který by rozhodujícím způsobem ovlivňoval ekonomii obrábění. [1]

5 Procesní kapaliny

Procesní kapaliny lze členit na kapaliny s převažujícím chladicím účinkem a kapaliny s převažujícím mazacím účinkem. Toto rozdělení však přesně nevystihuje sortiment kapalin, které jsou v současné době na trhu. Stále více se totiž projevuje snaha zvyšovat mazací účinky i u procesních kapalin s převažujícím chladicím účinkem. Všechny moderní druhy procesních kapalin tento požadavek plní, čímž je prakticky rozdíl mezi oběma skupinami stírán. Procesní kapaliny se rozdělují na vodní roztoky, emulzní kapaliny, mastné oleje, zušlechtěné řezné oleje, rostlinné oleje (ekologicky nezávadné) a syntetické kapaliny. V tab. 5.1 je uvedeno doporučené použití procesních kapalin. [1]

5.1 Druhy procesních kapalin

5.1.1 Vodní roztoky

Vodní roztoky jsou nejjednodušší a tím i nejlevnější procesní kapaliny, neposkytují ale žádné další výhody. Voda, která je jejich základem, vyžaduje řadu úprav - změkčování a při-dávání přísad proti korozi (kalcinová soda trinitriumfosfát, triethanolamin), pro zlepšení smáčivosti a proti pěnivosti. Vodní roztok musí být vždy alkalický. U těchto kapalin vzniká nebezpečí rozmnožování anaerobních bakterií, které způsobují tvorbu kalů a nepříjemný zápach. Vodní roztoky mají velmi dobrý chladicí a čistící účinek, ale téměř žádný mazací účinek. [1]

5.1.2 Emulzní kapaliny

Emulzní kapaliny tvoří disperzní soustavu dvou vzájemně nerozpustných kapalin, z nichž jedna tvoří mikroskopické kapky, rozptýlené v kapalině druhé (olej ve vodě). Aby to bylo umožněno, je třeba do této soustavy přidat ještě třetí složku, tzv. emulgátor, který zmenšuje mezi povrchové napětí emulgovaných kapalin, stabilizuje emulzi a zabraňuje koagulaci jemně rozptýlených částic oleje ve vodě. Funkce

emulgátoru je podmíněna tím, že některé jeho částice mají na jednom konci silný elektrický náboj, zatímco druhý, neutrální konec je rozpustný v oleji. Záporný náboj polární části molekuly způsobuje, že olejové částice jsou elektrostatickou silou vzájemně odpuzovány, což brání jejich spojování. [1]

Emulzní kapaliny spojují do určité míry přednosti vody a mazacích olejů. Chladicí účinek emulzní kapaliny závisí na koncentraci emulze, s jejím nárůstem klesá. Schopnost ochrany proti korozi závisí na tom, jaké hodnoty pH emulze dosahuje (pro slitiny na bázi železa postačuje hodnota $\text{pH} = 8\div 9$), ale v daleko menší míře než u vodných roztoků. Emulzní kapaliny jsou nejčastěji používanými procesními kapalinami, tvoří asi 80 % jejich celkového objemu. [1]

5.1.3 Zušlechtné řezné oleje

Jsou to kapaliny na bázi minerálních olejů. Přísady, které se používají (mastné látky, organické sloučeniny a pevná maziva), zvyšují jejich tlakovou únosnost a mazací vlastnosti. [1]

Mastné látky jsou zmýdelnitelné mastné oleje, mastné kapaliny nebo syntetické estery. Tyto přísady zvětšují přilnavost oleje ke kovu a zlepšují jeho mazací schopnosti, ne však za extrémních tlaků. [1]

Organické sloučeniny jsou vytvořeny na bázi síry, chloru, nebo fosforu. Všechny tyto látky se osvědčily jako vysokotlaké přísady. Na povrchu předmětů vytvářejí vrstvičku kovových mýdel, která zabraňují svařování a usnadňují kluzný pohyb troucích se ploch. Sloučeniny s chlorem zmenšují tření, ale jejich účinnost klesá při teplotách nad 400°C . Sloučeniny s fosforem mají vyšší účinek a jako nejúčinnější se projevily kombinace sloučenin síry, chloru a fosforu. [1]

Pevná maziva, která se používají jako přísady do řezných olejů, působí při řezání navíc mechanickým účinkem. Svou afinitou ke kovu vytvářejí mezní vrstvu, odolnou proti tlakům a zlepšují mazací schopnosti oleje. Mezi pevná maziva patří grafit a sirník molybdenu. Jejich nevýhodou je, že se v kapalinách nerozpouští a musí se proto udržovat v rozptýleném stavu. [1]

5.1.4 Syntetické a polosyntetické kapaliny

Tento druh procesních kapalin se vyznačuje velkou provozní stálostí. Většinou jsou rozpustné ve vodě a mají dobré chladicí, mazací a ochranné účinky. [1]

Syntetické procesní kapaliny neobsahují minerální oleje, ale jsou složeny z rozpouštědel - glykolů, které ve vodě emulgují, nebo se rozpustí. Glykoly jsou průsvitné, takže umožňují sledovat průběh obráběcího procesu. [1]

Aplikace syntetických procesních kapalin má proti kapalinám na bázi oleje ekonomické výhody a navíc zajišťuje rychlé odvádění tepla, dobrý čisticí účinek a jednoduchou přípravu. [1]

Tab. 5.1 Doporučení pro volbu procesní kapaliny pro různé operace obrábění a různé obráběné materiály

Operace	Materiál obrobku			
	Nízkouhlíková ocel	Uhlíková ocel	Legovaná ocel	Nerezavějící ocel, žáruvzdorná ocel
BROUŠENÍ	EMULZE; SYNTETICKÉ NEBO CHEMICKÉ KAPALINY			
SOUSTRUŽENÍ	EMULZE, SYNTETICKÉ KAPALINY		EMULZE S PŘÍRADAMI PROTI VYSOKÝM TLAKŮM, SYNTETICKÉ KAPALINY	
FRÉZOVÁNÍ	EMULZE, TUKY, POLOSNTETICKÉ, SYNTETICKÉ KAPALINY	EMULZE PRO EXTRÉMNÍ TLAKY, POLOSNTETICKÉ, SYNTETICKÉ KAPALINY	EMULZE PRO EXTRÉMNÍ TLAKY, SYNTETICKÉ KAPALINY (ŘEZNÉ OLEJE)	
VRTÁNÍ	MAŠTĚNÉ EMULZE PRO VYSOKÉ TLAKY, SYNTETICKÉ KAPALINY			
VÝROBA OZUBENÍ OBŘÁŽENÍM	EMULZE PRO VYSOKÉ TLAKY, SYNTETICKÉ KAPALINY		ŘEZNÉ OLEJE	
VÝROBA OZUBENÍ ODVALOVACÍM FRÉZOVÁNÍM	EMULZE PRO EXTRÉMNÍ TLAKY, SYNTETICKÉ KAPALINY, NEBO ŘEZNÉ OLEJE			ŘEZNÉ OLEJE
PROTAHOVÁNÍ	EMULZE PRO EXTRÉMNÍ TLAKY, SYNTETICKÉ KAPALINY, NEBO ŘEZNÉ OLEJE			
ŘEZÁNÍ ZÁVITŮ	EMULZE PRO EXTRÉMNÍ TLAKY, SYNTETICKÉ KAPALINY, NEBO ŘEZNÉ OLEJE		ŘEZNÉ OLEJE	

6 Přívod procesní kapaliny do místa řezu

Způsob přívodu procesní kapaliny do zóny řezání významně ovlivňuje parametry řezného procesu, zejména trvanlivost břitu nástroje a jakost obrobene plochy.

6.1 Standardní chlazení

Tento způsob přívodu procesní kapaliny nevyžaduje žádnou úpravu přívodního potrubí a vystačí se standardním zařízením, dodávaným výrobcem obráběcího stroje. Toto zařízení je tvořeno nádrží na řeznou kapalinu, čerpadlem a rozvodovým potrubím. Množství dodávané procesní kapaliny je dáno typem čerpadla a škrcením průtoku výstupním kohoutem. [1]

6.2 Tlakové chlazení

Při tlakovém chlazení je procesní kapalina přiváděna do místa řezu pod vysokým tlakem. Průměr výstupní trysky bývá $0,3 \div 1,0$ mm, tlak $0,3 \div 3,0$ MPa. Procesní kapalina je přiváděna na břit nástroje zespodu, přímo do místa řezu. Tento způsob chlazení je vhodný tam, kde vzniklé teplo má prokazatelný nepříznivý vliv na trvanlivost nástroje.

Množství přiváděné kapaliny se pohybuje v rozmezí $0,5 \div 2,0$ litrů za minutu. Jedním z nedostatků tohoto způsobu je, že se procesní kapalina rozstříkuje a tvoří mlhu a proto je třeba pracovní prostor stroje uzavřít, aby se zabránilo znečišťování pracovního prostředí. [1]

6.3 Podchlazování procesní kapaliny

Podchlazování procesní kapaliny na teplotu nižší než je teplota okolí přispívá ke zvýšení trvanlivosti nástrojů. Běžné druhy procesních kapalin mohou být při zachování mazacích vlastností podchlazeny na $5 \div 7$ °C, oleje potom na $15 \div 20$ °C. Podchlazení na nižší teploty je omezeno stálostí procesní kapaliny u emulzí a houstnutím u řezných olejů. Snížení teploty procesní kapaliny pod bod mrazu může

přinést další zvýšení výkonu obrábění, je však nutné použít procesní kapaliny speciálního složení. [1]

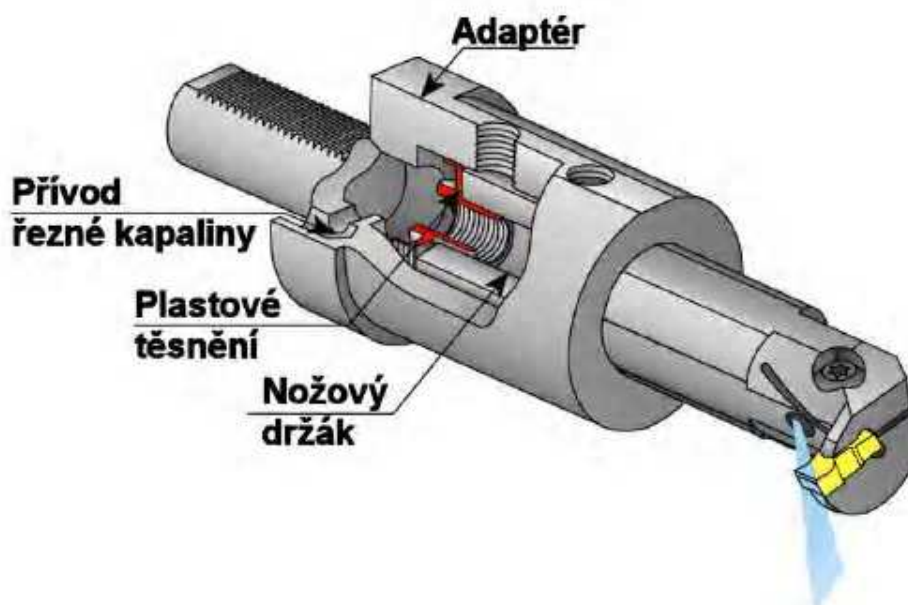
6.4 Chlazení řeznou mlhou

Procesní kapalina je v tomto případě rozptýlena tlakem vzduchu vytékajícího z trysky rychlostí až $300 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ a nasměrována přímo na řeznou část nástroje, před jeho najetím do řezu. Velmi dobrého odvodu tepla z místa řezu se dosáhne tím, že rozpínající se vzduch obsahuje částičky procesní kapaliny a má tak větší schopnost přejímat vzniklé teplo. [1]

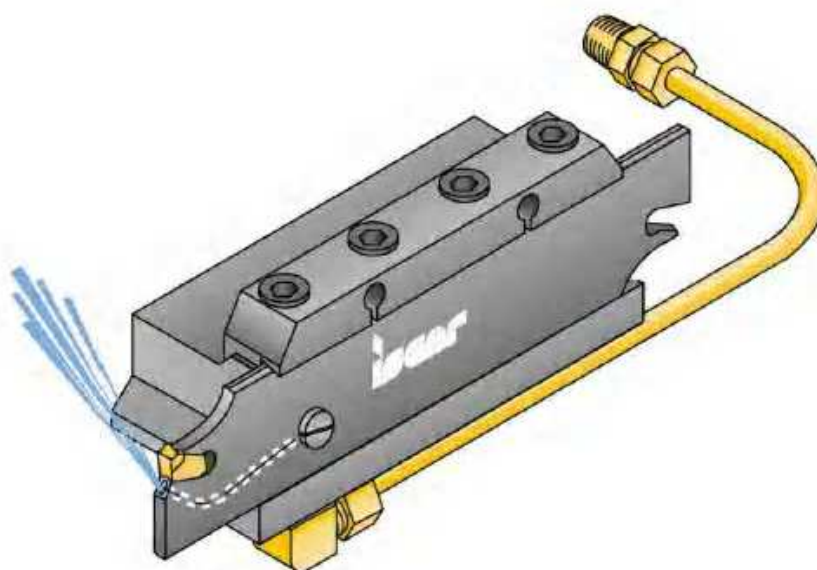
6.5 Vnitřní chlazení

Vnitřní chlazení přináší výrazné zvýšení výkonu obrábění, umožňuje zvýšení řezné rychlosti o 5 až 15 %. Při soustružení je tato metoda vhodná pro nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami ze slinutých karbidů (obr. 6.1). [1]

U vrtáků je vnitřní chlazení upraveno tak, že procesní kapalina je přiváděna centrálními otvory v tělese nástroje až do místa řezu (obr. 6.4). Mimo vrtáků s vyměnitelnými břitovými destičkami je vnitřní chlazení používáno i u klasických šroubovitých vrtáků vyrobených z monolitních SK i RO. Tohoto způsobu chlazení se též využívá při vrtání hlubokých děr a vrtání těžkoobrobitelných materiálů. Zvýšení tlaku procesní kapaliny, přiváděné do místa řezu, vede ke zvýšení výkonu obrábění a případně k lepšímu odvodu třísek. [1]



Obr. 6.1 Vnitřní nůž firmy Iscar s vnitřním chlazením [1]



Obr. 6.2 Zapichovací nůž firmy Iscar s vnitřním chlazením [1]



Obr. 6.3 Fréza firmy Stellram s vnitřním chlazením [1]



Obr. 6.4 Vrták firmy Sandvik – Coromant s vnitřním chlazením [1]



Obr. 6.5 Fréza s vnitřním chlazením

7 Rozbor stávajícího způsobu standardního chlazení

Přívod procesní kapaliny u tohoto způsobu chlazení nevyžaduje žádnou úpravu přívodního potrubí a vystačí se standardním zařízením, dodávaným výrobcem obráběcího stroje. Toto zařízení je tvořeno nádrží na řeznou kapalinu, čerpadlem a rozvodovým potrubím. Množství dodávané procesní kapaliny je dáno typem čerpadla a škrcením průtoku výstupním kohoutem. Toto ochlazení však obsahuje nežádoucí vlivy.

7.1 Nežádoucí vlivy nízkotlakého chlazení

Při nízkotlakém chlazení se vyskytují tyto nežádoucí vlivy:

- vznik přehřáté páry
- chlazení nepronikne až ke špičce nástroje
- špatné mazání
- zpětné nalétávání třísek na hranu nástroje
- poškození nástroje
- poškození obrobku

7.2 Eliminace nežádoucích vlivů standartního nízkotlakého chlazení

Více než 90 % energie se při obrábění přeměňuje na teplo. Do řezné zóny musí být dodán dostatečný objem kapaliny, aby došlo k absorpci veškerého tepla. Jednou z variant eliminace těchto nežádoucích vlivů je správné použití vysokotlakého chlazení v kombinaci s volbou vhodného řezného nástroje.

8 Vysokotlaké a velkobjemové chlazení

Řešením problémů standartního chlazení je správně aplikované vysokotlaké chlazení, doplněné používáním vhodných nástrojů. Dostatečné množství vysoce stlačené kapaliny přivedené do řezné zóny dokáže odvést všechno vznikající teplo, a proto ke vzniku páry nedochází vůbec, nebo jen ve velmi malém množství. Velký objem kapaliny navíc zajistí dobré mazání a odstraní třísky z místa řezu. Díky tomu nedochází k žádnému poškození nástrojů, pouze k jejich běžnému opotřebovávání. Proud kapaliny je navíc přesně nasměrován do žádaného místa, což umožňuje přímou a okamžitou kontrolu celého procesu. [7]

Výhody aplikace vysokotlakého chlazení

- Do řezné zóny se dodává správný objem dobře nasměrovaného a dostatečně stlačeného proudu chladicí kapaliny.
- Nástroje se neničí v důsledku přehřátí.
- Usnadňuje lámání třísek.
- Rychle odstraňuje třísky z místa řezu.
- Prodlužuje životnost nástrojů.
- Zvyšuje řezné rychlosti i posuv.
- Zvyšuje jakost obrobenej plochy.

8.1 Tvar trysky a její vliv na vysokotlaké a velkobjemové chlazení

Síla i objem kapaliny musí být soustředěny na řeznou hranu. Vysokotlaký proud má výhodu, že jej můžeme přesně nasměrovat na řeznou hranu VBD, čímž docílíme snadnější odlamování a odplavování třísek z místa řezu oproti standardnímu nízkotlakému chlazení.

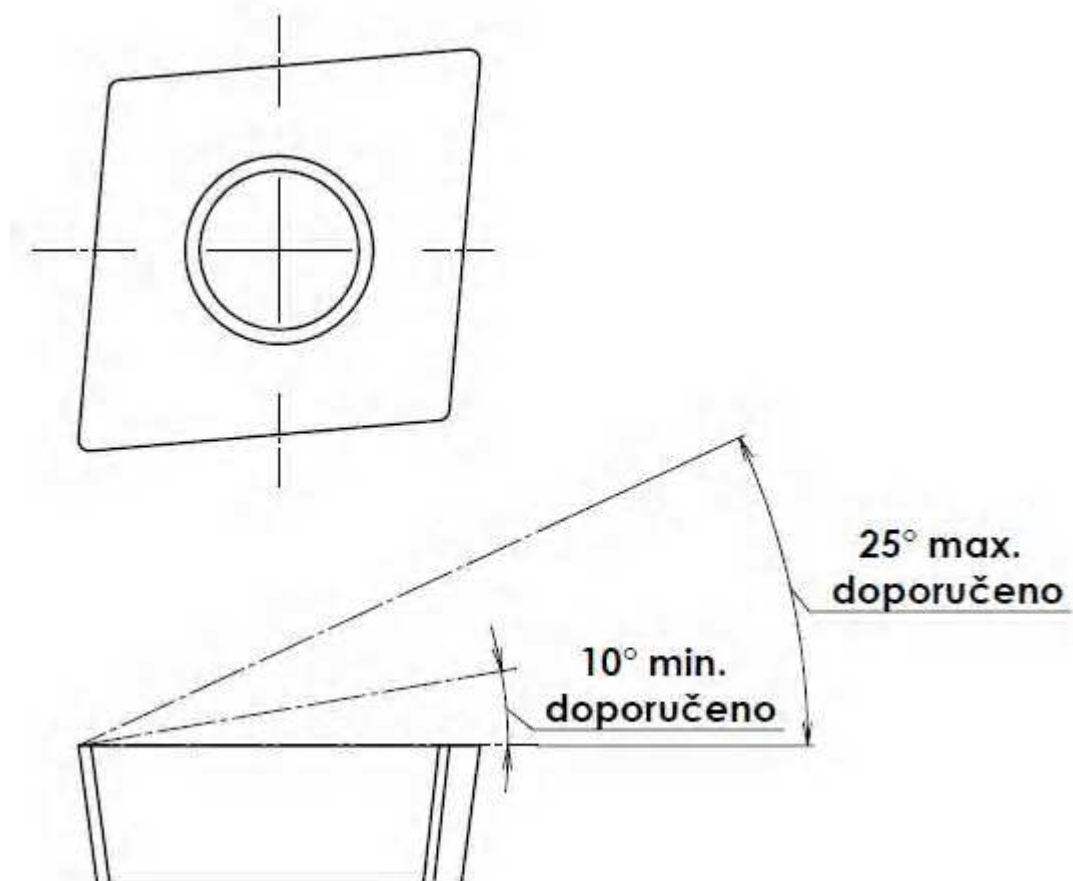


Obr. 8.1 Porovnání trysky vysokotlakého a nízkotlakého proudu

Na obr. 8.1 je porovnání tvaru trysky nízkotlakého a vysokotlakého chlazení. Z obrázku vyplývá, že vysokotlaký proud lze přesně nasměřovat do místa řezu. To usnadňuje lámání třísek a jejich odstraňování z místa řezu. Nízkotlaký proud taky zasáhne řeznou zónu, ale i okolní rozsáhlou oblast. Nízký tlak nedostatečně odstraňuje třísky z místa řezu a neusnadňuje lámání třísek, což způsobuje poškození nástroje a horší jakost obrobeného povrchu. Z finančního hlediska je to neekonomické, jelikož přivádíme kapalinu do míst, které nejsou součástí řezné zóny.

8.2 Správně nasměřovaný proud chladicí kapaliny

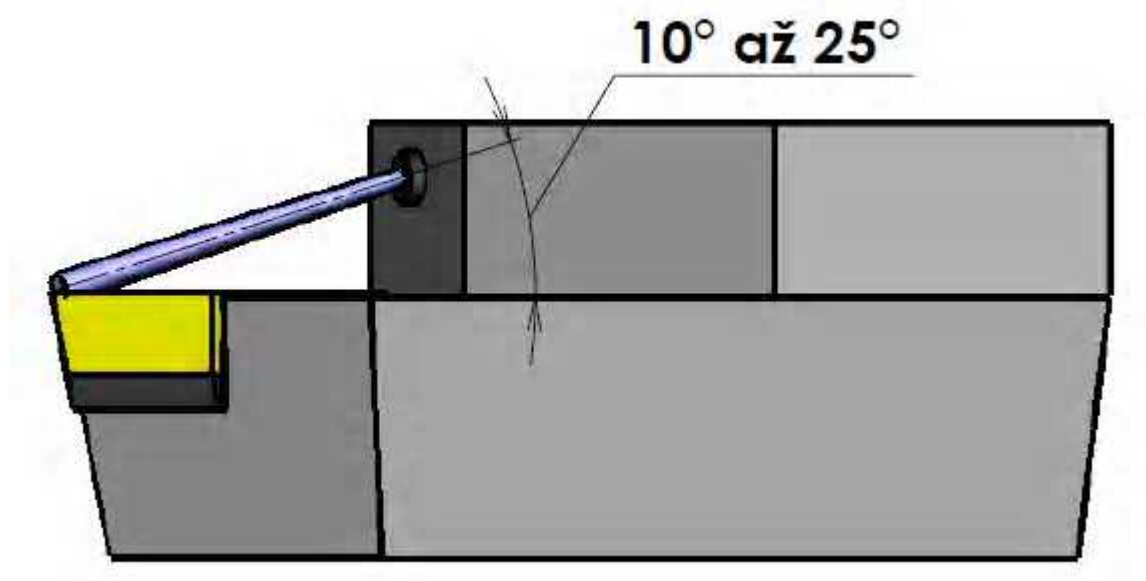
Proud chladicího média musí směřovat přesně na ostří břitové destičky (obr. 8.2, 8.3 a 8.4). S plochou destičky by měl svírat úhel v rozmezí 10° až 25° . Větší úhly, od úhlu 45° , vedou ke zpětnému nalétávání třísek do místa řezu. [7]



Obr. 8.2 Doporučené úhly nasměrování chladicího média na ostří VBD



Obr. 8.3 Nasměrování chladicího média na ostří VBD [7]



Obr. 8.4 Upnutí břitové destičky a doporučené úhly nasměrování chladícího média na ostří VBD



Obr. 8.5 Robustní upnutí břitové destičky a nasměrování chladící kapaliny na VBD
[7]

9 Vliv vysokotlakého a velkoobjemového chlazení na procesy obrábění

9.1 Soustružení

Při konvenčním soustružení je nastavení chlazení (směrování i množství) prováděno zpravidla ručně. Směr proudu chladicí kapaliny není vždy přesný, v průběhu operace se neztřídká mění a musí se při výměně součásti znovu seřizovat. Často tak chlazení neplní zcela svoji funkci. Výrobce chladicích prostředků odhaduje, že po uplynutí asi 40 % doby obrábění není místo oddělování třísek správně chlazeno.

Přesné směrování chladicí kapaliny umožní její přívod kanálky v nožovém držáku. Takto je zajištěno přesné chlazení břitových destiček ze slinutých karbidů, které jsou u nových soustružnických systémů optimalizovány pro vysokotlaké chlazení. V průběhu obrábění není třeba upravovat seřízení, což je významné zejména pro automatizované bezobslužné výrobní systémy. Nožový držák se systémem ChipBlaster umožní u všech běžných metod obrábění nastavení směru paprsku chladicí kapaliny s přesností 10 minut v celém sektoru použití (tj. 180° v rovině vodorovné, 90° v rovině svislé). [4]

Vysoký tlak a velké množství chladicí kapaliny přiváděné přesně do místa styku nástroje s obrobkem zajišťují chladicí a mazací účinek, zabraňují odpařování kapaliny a odplavují vytvořené třísky. Je třeba zdůraznit, že výsledný efekt chlazení je podmíněn společným působením vysokého tlaku a velkého množství kapaliny. Vysoký tlak nejen udržuje teplotu v místě řezu na nízké úrovni, ale současně příznivě ovlivňuje i další aspekty řezání, např. brání vytváření „mikrosvarů“ mezi nástrojem a materiálem obrobku, nedochází k poškození povrchu chemickými reakcemi, zvýší se mazací účinek kapaliny, což vede až k dvojnásobnému zvýšení kvality obrobeného povrchu, apod.

Vhodný vysokotlaký chladicí systém s velkým množstvím kapaliny umožní zvýšení řezné rychlosti min. o 30 %, v některých případech až o 300%. Výsledky zkoušek ve výrobě zaznamenávají 150% zvýšení řezné rychlosti, 25% zvýšení posuvu a 100% zvýšení počtu součástí obrobených jednou řeznou hranou. Při běžném chlazení (malým tlakem) se třísky zachycovaly na sklíčidle a musely být ručně odstraňovány při každé výměně obrobku, což znemožňovalo operaci

automatizovat. Při použití vysokého tlaku chladicí kapaliny jsou třísky odstraňovány bez zásahu obsluhy a proces může být automatizován. Výsledky zkoušek obrábění stejné součásti: Pro soustružení ocelí s malým a středním obsahem uhlíku, s použitím nízkého tlaku chladicí kapaliny je charakteristické vytváření dlouhých nedělených třísek. [4]

Při obrábění stejných materiálů, při stejných řezných podmínkách (v_c , v_f), ale s použitím velkého množství vysokotlaké chladicí kapaliny lze očekávat tvoření lámaných třísek, které jsou odplavovány z místa řezu. Odstraňování a manipulace s nedělenými třískami jsou problematické, zejména u automatizovaných obráběcích strojů. Dlouhé třísky se mohou navíjet na vrtací nástroje, sklíčidla, vyplňovat vyvrtané díry, svou neskladností ztěžují manipulaci a často musí být ručně odstraňovány, jsou nebezpečné pro nástroj i obrobený povrch – jsou tedy potenciálním zdrojem vzniku nepředvídatelných poruch procesu obrábění. Z tohoto hlediska je předností použití vysokotlakého chladicího systému zvýšení spolehlivosti procesu obrábění a současně i zvýšení trvanlivosti řezného nástroje. [4]

9.2 Frézování

U konvenčního frézování s běžným chlazením se výrazně zvyšuje teplota na řezné hraně v průběhu záběru každého zubu. V okamžiku vyjetí ze záběru je zub působením chladicí kapaliny vystaven tepelnému šoku.

Přestože většina výrobců řezných nástrojů doporučuje soustružit s chlazením, v případě frézování dává přednost obrábění za sucha. Zejména jde-li o obrábění stejného materiálu obrobku stejným řezným materiálem (slnutým karbidem a povlakem). Při soustružení je většinou břit zatížen 3 až 4 úběry za minutu a tedy stejným počtem tepelných šoků. U frézování je každá břitová destička ohřátá a ochlazená při každé otáčce frézy. Výrobci řezných nástrojů doporučují frézování za sucha a vycházejí z předpokladu, že stabilní tepelné zatížení nebo možnost poškození břitu třískami je pro břitové destičky přijatelnější než namáhání tepelnými šoky. Starší generace stále používaných fréz byly konstruovány pro pomalé nezakrytované frézky s ruční obsluhou. Při frézování těmito nástroji z rychlořezné oceli při nízkých řezných rychlostech se chladicí kapalina často nedostávala do místa řezu a teplota v této oblasti zůstávala velmi vysoká. Použití většího množství chladicí

kapaliny přiváděné do místa řezu pod tlakem tak při frézování podstatně sníží teplotu v oblasti oddělování třísek. [4]

Vydatný proud kapaliny plynule odplavuje třísky, čímž se minimalizuje možnost vzniku problémů s třískami v mezerách mezi zuby nebo poškození řezných hran. Při frézování lze využít vyšších řezných rychlostí a posuvů při větší trvanlivosti nástrojů.

9.3 Vrtání

Vysokotlaké chlazení je mimořádně přínosné i pro vrtání. Zejména proto, že odstraňuje typické problémy s třískami a vysokou teplotou, které vznikají při klasickém vrtání s nízkotlakým chlazením. Chlazení místa řezu při vrtání je velmi obtížné, protože probíhá v omezeném prostoru, např. vrtání neprůchozí díry nebo řezání závitu závitníkem. Zvláště u delších otvorů chladicí kapalina zaplňuje celý vyvrtaný prostor, odvod třísek nebývá plynulý a někdy může teplota v místě řezu způsobit i odpařování chladicí kapaliny. V případě vysokotlakého chlazení se zpravidla využívá tlaku na úrovni 6,9 MPa, ale pro speciální obtížné aplikace i vyššího. Vlastní tlak kapaliny neovlivňuje účinnost vrtání. Efektivnost chlazení je výrazně závislá na rozměru díry. [4]

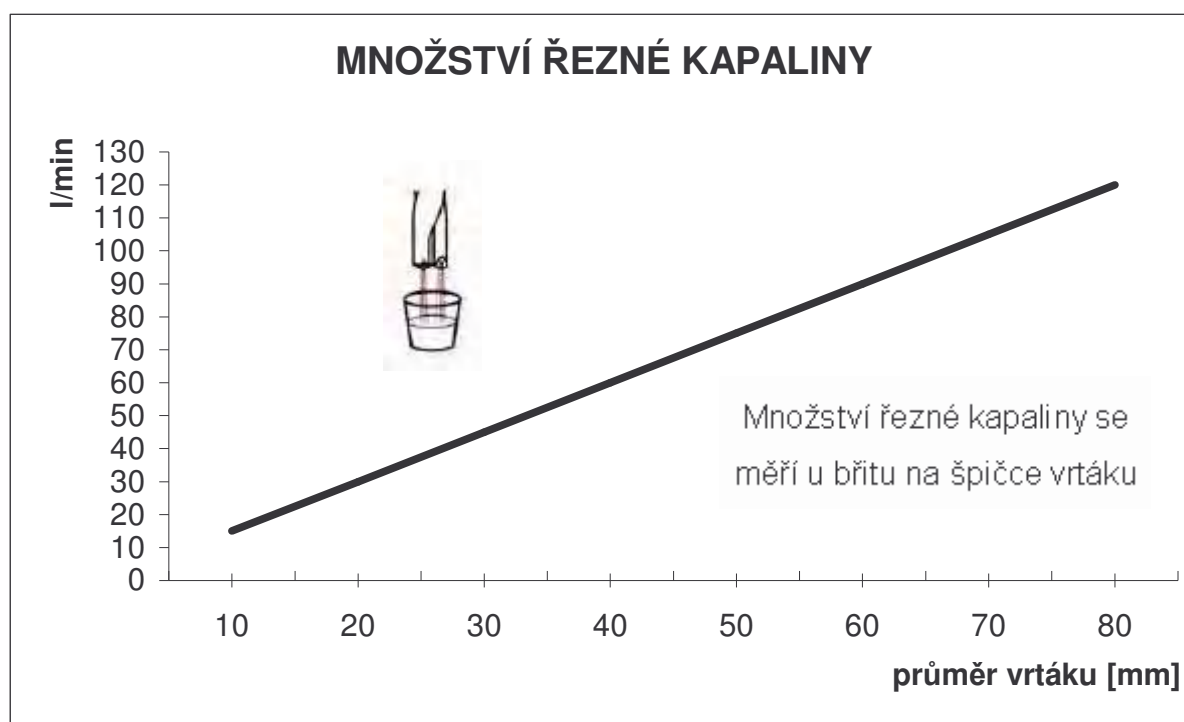
10 Doporučené parametry pro vysokotlaké chlazení

Obecně lze říci, že pro většinu operací jsou dostatečné tlaky okolo 7 MPa, některé náročnější dílčí operace však vyžadují tlaky ještě vyšší.

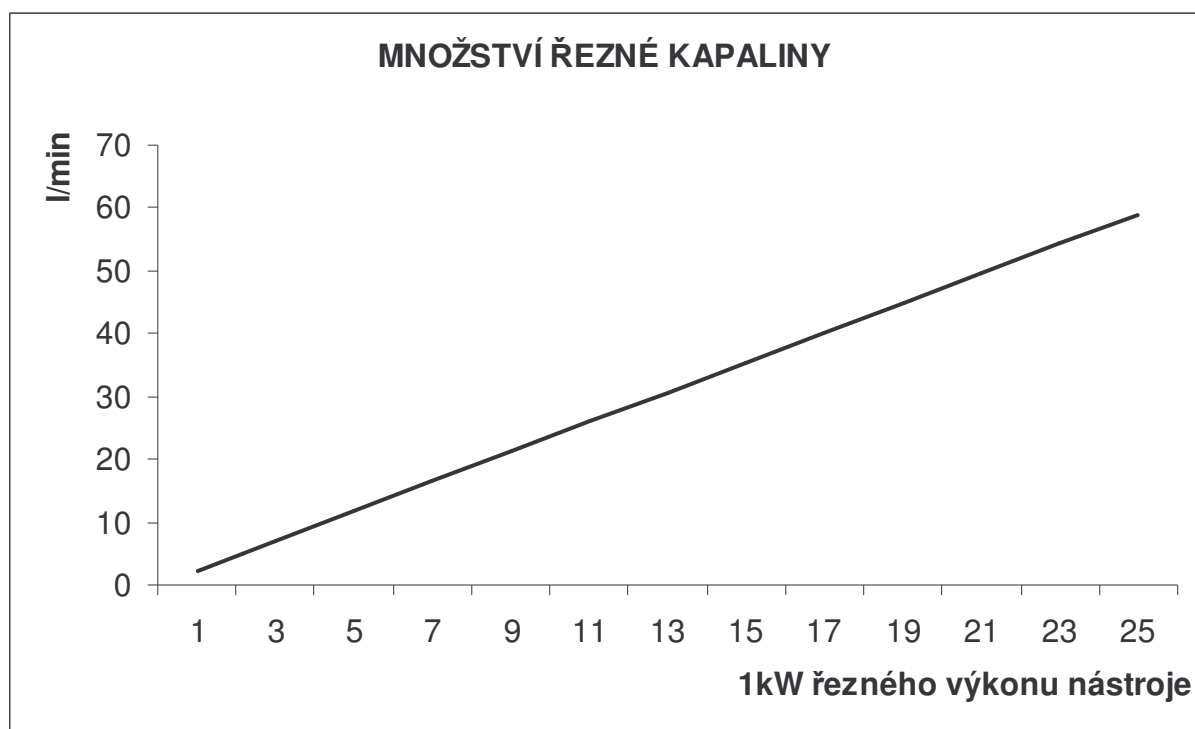
Chceme-li přesně stanovit, jaký tlak a jaké množství chladicí kapaliny je nejvhodnější pro konkrétní typ výroby, musíme se řídit velikostí používaného nástroje a okamžitým výkonem nástroje při provádění konkrétní operace. Vodítkem mohou být přibližné relace uvedené v tab. 10.1 a v grafech 10.1 a 10.2.

Tab. 10.1 Optimální spotřeba procesní kapaliny při jednotlivých technologiích. [7]

Optimální spotřeba procesní kapaliny při jednotlivých technologiích	
operace	vztah
vyvrtávání	15l / 10 mm průměru nástroje
soustružení	2,36l / 1kW řezného výkonu nástroje
frézování	2,36l / 1kW řezného výkonu nástroje



Graf 10.1 Optimální spotřeba procesní kapaliny při vrtání



Graf 10.2 Optimální spotřeba procesní kapaliny pro soustružení a frézování

11 Nástrojové držáky pro chlazení vysokým tlakem

Používaný tlak chladicího a mazacího média postupně stoupal z původních 4 MPa nejprve na 8 MPa a v současnosti na používaných 14 MPa. Konstrukční řešení přívodu chladiva minimalizuje jeho tlakový spád mezi vstupem do nástroje a výstupem o tlaku 36 MPa otvory z masivní příločky těsně u řezné hrany. Robustní upnutí VBD ze SK omezuje její namáhání na ohyb, a tím zvyšuje provozní spolehlivost.

Výstup chladiva u řezné hrany tvoří stabilní paprsky tak, aby se zabránilo nežádoucí tvorbě mlhy. K zajištění trvale vysokého tlaku je nástroji předřazen tlakový akumulátor, pro případ výpadku je zajištěna i dodávka chladiva o nízkém tlaku, aby se předešlo poškození drahého obrobku. Podstatně se snižují hlavní časy a klesá teplota na řezné hraně nástroje. Tím se zamezuje tvorbě nárůstků, usnadňuje se odvod třísek, optimalizuje životnost nástroje a zvyšuje se jeho spolehlivost. [10]

Modulární stavba nástroje a akumulátoru dovoluje realizaci pravého a levého provedení a dovoluje individuální řešení nástroje pro konkrétní úlohy obrábění, takže podobným způsobem mohou být hospodárně zvládnuty rozličné úlohy soustružení a zapichování. [10]



Obr. 11.1 Nástrojové držáky firmy ISCAR pro chlazení vysokým tlakem [10]

12 Stálé a proměnlivé nastavení průtoku

Vysokotlaké jednotky jsou provedeny ve dvou variantách. S pevně daným konstantním průtokem nebo s možností nastavitelného průtoku.

Pumpy systémů s pevně nastaveným průtokem se otáčejí konstantní rychlostí a výsledný tlak závisí na velikosti použitého nástroje. Tyto systémy jsou vybaveny regulačním ventilem, který udržuje maximální povolený tlak. Pokud se v dané chvíli obrábí malými nástroji, přebytečná chladicí kapalina odtéká přes tento ventil pryč a zůstává nevyužita.

Naproti tomu systémy s nastavitelným průtokem jsou konstruovány tak, aby udržovaly konstantní tlak bez ohledu na to, jaký nástroj je použit. Větší nástroje nebo větší počet nástrojů vyvolají větší průtok, malé naopak menší průtok. Obě tyto varianty mají pochopitelně svá pro a proti (tab. 12.1).

Instalace, programování i samotná obsluha chladicích jednotek s proměnlivým průtokem jsou poměrně složité a řadu uživatelů dokážou odradit. Firma ChipBlaster vyvinula systém automaticky proměnlivého objemu (Automatic Variable Volume), který má patentován a kterým jsou vybaveny její jednotky řady JV, EV a GV. [7]

Díky tomuto zařízení se objem chladicí kapaliny automaticky nastavuje podle průměru otvoru a obsluha stroje již nemusí sama nic programovat. Zde již také nejsou zapotřebí žádné regulační ventily a chladicí kapalina je využívána vysoce efektivně. To pochopitelně zajišťuje dokonalý odvod tepla, vymytí třísek z místa řezu i dobré mazání. Je prokázáno, že s používáním chlazení vybaveným systémem automatického proměnlivého objemu se navíc výrazně prodlouží životnost filtrů (dokonce až o 200 - 400 %), životnost samotné chladicí kapaliny až o 100 % a eliminuje se vznik teplotních šoků. [3]

Tab. 12.1 Srovnání stálého a proměnlivého průtoku kapaliny. [7]

Srovnání kladů a záporů stálého/proměnlivého průtoku kapaliny	
Stálý průtok	Proměnlivý průtok
Pro: <ul style="list-style-type: none"> - snadná instalace - nižší náklady - snadné odstraňování problémů 	Pro: <ul style="list-style-type: none"> - pumpa přivádí do systému pouze požadované - je udržován optimální tok - redukuje se ohřev chladícího média - snadno lze předprogramovat pro zvolené tlaky
Proti: <ul style="list-style-type: none"> - fixní průtok může být v dané situaci buď příliš malý, nebo velký - plýtvání elektrickou energií - přetečení přebytečného chladícího média může způsobit vznik dalšího tepla 	Proti: <ul style="list-style-type: none"> - vyšší pořizovací náklady - nutné vyškolení obsluhy a znalost programování pro instalaci - náročnější opravy a údržba

13 Filtrování a magnetická separace třísek

Účinný chladicí systém by měl správně recyklovat každou kapku chladicí kapaliny tím, že se z ní odstraní starý olej a veškeré nečistoty. Takto vyčištěnou kapalinu lze poté pumpovat zpět do řezné zóny. Aby bylo vyčištění dokonalé, chladicí kapalina by měla být filtrována filtry s průsvitem do 5 μm . Pokud tento ideální stav zajistit nelze, určitě by se neměla přesáhnout horní hranice hrubosti filtru 20 μm . Pokud do nástroje narážejí špony o velikosti řekněme 70 μm , žádný nástroj již dále nebude přesný ani vyvážený. [7]

Firma ChipBlaster se věnovala vývoji a své chladicí jednotky vybavuje tzv. dvojí filtrací. V okamžiku, kdy se filtr A zanes, jednotka sama přepne na filtr B a dá světelnou či zvukovou signalizací obsluze na vědomí, že jeden z filtrů lze vyměnit. Tuto výměnu lze přitom provést během práce stroje, který kvůli tomu není nutné vypínat. To výrazně přispívá k eliminaci vedlejších časů.

Při obrábění však od obráběného dílce odlétá 90 % částic, které jsou větší než 20 - 25 μm . Dobrým řešením je magnetická separace špon, která je rovněž zakomponována do chladicích jednotek ChipBlaster. [7]

14 Odsávání par

K jednotkám vysokotlakého chlazení je dodáváno zařízení pro odsávání par, které je rovněž plně programovatelné. Po dobu, kdy jsou dveře stroje zavřeny, vytváří odsavač par malý podtlak, který brání úniku páry ze stroje. Tento podtlak je navíc přesně měřitelný. V okamžiku, kdy pracovní cyklus skončí a vypne se chlazení, odsavač zvýší své obrátky a po předem naprogramovanou dobu intenzivně odsává přítomné páry. Díky tomu nedochází v okamžiku otevření dveří k žádnému úniku páry a tím k žádnému ohrožení obsluhy. [7]

15 Porovnání vlivu vysokotlakého a nízkotlakého chlazení na procesech obrábění

Porovnání vlivu na procesu obrábění provedeme při použití vysokotlaké chladicí jednotky CHIPBLASTER. Vliv budeme porovnávat na procesu vrtání a frézování.

15.1 Zkouška vrtání

Cílem testu je vyvrtat 441 děr o průměru 3,5 mm do hloubky 20mm (obr.15.1) bez přerušení řezu. Stejnými řeznými podmínkami (tab. 15.1) budeme vrtat stejnou dráhu při dvou rozdílných tlacích chladicího média. Následně budeme hodnotit utváření třísek a opotřebení nástroje.

Místo zkoušky: Kovosvit Sezimovo Ústí

Stroj: MCV 1000 QUICK

Chladicí jednotka: ChipBlaster JV10

Obráběný materiál: ČSN 12 050 (DIN Ck 45)

Nástroje: Iscar

Tab. 15.1 Řezné podmínky při vrtání děr s tlakem 7MPa a 2 MPa. [7]

PODMÍNKY	HODNOTY	
chladicí tlak:	7 MPa	2 MPa
chladicí objem:	38 litrů/min.	-
Nástroj:	SCD 035-023-060-ACG 5 IC 908 - celokarbidový vrták	
Upínač:	DIN 69 871 40 ER 32 x 65	
Řezné podmínky:		
řezná rychlost - v_c	100 m·min ⁻¹	
otáčky - n	9100 min ⁻¹	
posuv na zub - f_z	0,15 mm	
posuvová rychlost - v_f	1360 mm·min	
Hloubka řezu - a_p	5 mm	

15.1.1 Vyhodnocení testu vrtání

Porovnání opotřebení nástrojů

Na vyhodnocení testu se podíleli pracovníci firem Iscar ČR, Technology-support a ChipBlaster.

Po obrábění s tlakem 7 MPa je opotřebení minimální a lze pokračovat ve vrtání bez nutnosti přebroušení. Po obrábění s tlakem 2 MPa opotřebení zasahuje do chladicího otvoru vrtáku, což nás upozorňuje na nutnost přebrousit vrták, abychom ho mohli dále využívat.

Z toho vyplývá, že při použití tlaku chladicí kapaliny při tlaku 2 MPa bude nutné měnit vrták mnohem častěji než při použití tlaku chladicí kapaliny při tlaku 7 MPa. Tyto rozdíly jsou způsobeny rozdílnými teplotami v místě řezu při použití rozdílných tlaků chladicí kapaliny. Menší tlak chladicí kapaliny způsobí větší lokální ohřátí v místě řezu, což potvrzují testy. Větší tlak v místě řezu zkracuje i vlastní kontakt nástroje s odváděnou třískou. [7]

Doplňující test – vrtání „na smrt“ vrtáku

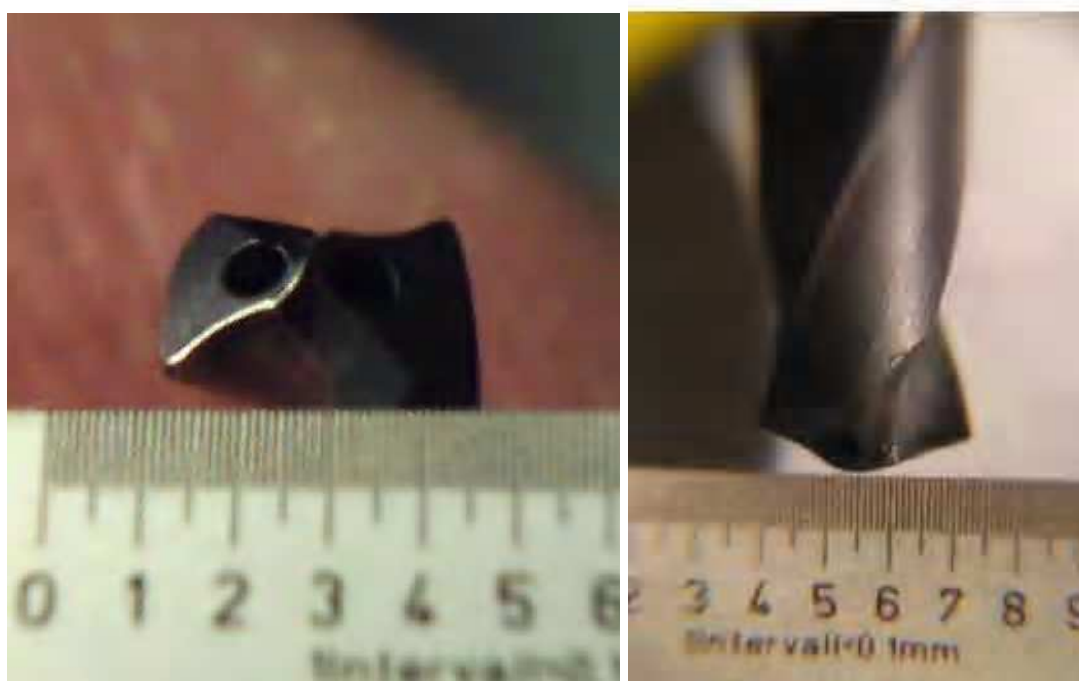
Jako doplňující test bylo realizováno vrtání „na smrt“ vrtáku, kdy nebyl brán ohled na nutnost přebroušení a vrtalo se do zlomení nástroje. Při použití chlazení o tlaku 2MPa bylo vyvrtáno ještě dalších 90 otvorů a vrták prasknul v řezu. [7]

Při použití chlazení o tlaku 7MPa bylo vyvrtáno dalších 90 otvorů a vrták znovu zkontrolován. Nástroj stále nejevil známky nutnosti přebroušení, opotřebení byl minimální (do 0,05 mm) a s tímto nástrojem bylo možné pokračovat v obrábění.

Oba testy ukázaly, že aplikace vysokotlakého chlazení o tlaku 7MPa má příznivý vliv na životnost vrtáku v porovnání s chlazením o tlaku 2MPa.



Obr. 15.1 Test vrtání děr [7]



Obr. 15.2 Vrták po obrábění s tlakem 7 MPa [7]

Vliv vysokotlakého chlazení na tvorbu třísek

Tvar třísek při použití tlaku 7 MPa (obr. 15.3) v porovnání s tlakem 2 MPa (obr. 15.4) lze sledovat kratší třísku až o 35 % (obr. 15.4) a lepší opracování povrchu. Vyšší tlak (7 MPa) a dostatečný objem chladicí kapaliny zkracuje velikost třísek, snadněji odplavuje třísky z řezu a tím předchází zahlcování díry a náchylnost k zlomení vrtáku. [7]

V případě použití tlaku 7 MPa by bylo možné ještě zvýšit řeznou rychlost bez následku zahlcení vrtáku.

Důvodem zlomení vrtáku při chlazení s tlakem 2 MPa bylo především utváření třísek, které způsobily zaplnění díry.



Obr. 15.3 Třísky po obrábění s tlakem chladící kapaliny 2 MPa [7]



Obr. 15.4 Třísky po obrábění s tlakem chladící kapaliny 7 MPa [7]



Obr. 15.5 Porovnání třísek po obrábění s tlakem chladicí kapaliny 7 MPa (napravo) a s tlakem chladicí kapaliny 2 MPa (nalevo) [7]

15.2 Zkouška frézování

Úkolem testu je frézovat drážku o průměru 16mm (obr. 15.5). Hloubka řezu činí 5 mm. Stejnými řeznými podmínkami (tab. 15.2) budeme frézovat stejnou drážku při dvou rozdílných tlacích chladicího média. Následně budeme hodnotit utváření třísek a opotřebení nástroje.

Místo zkoušky: Kovosvit Sezimovo Ústí

Stroj: MCV 1000 QUICK

Chladicí jednotka: ChipBlaster JV10

Obráběný materiál: ČSN 12 050 (DIN Ck 45)

Nástroje: Iscar

Tab. 15.2 Řezné podmínky při frézování drážky s tlakem 7MPa a 2 MPa. [7]

PODMÍNKY	HODNOTY	
chladičí tlak:	7 MPa	2 MPa
chladičí objem:	38 litrů/min.	-
Nástroj:	HP E 90AN D-16-3-C16-07-C - drážkovací fréza	
VBD:	HP ANKT 0702 PN-R IC928	
Upínač:	DIN 69 871 40 ER 32 x 65	
Řezné podmínky:		
řezná rychlost - v_c	180 m·min ⁻¹	
otáčky - n	3500 min ⁻¹	
posuv na zub - f_z	0,08 mm	
posuvová rychlost - v_f	840 mm·min ⁻¹	
Hloubka řezu - a_p	5 mm	

15.2.1 Vyhodnocení testu frézování

Porovnání opotřebení nástrojů

Na vyhodnocení testu se podíleli pracovníci firem Iscar ČR, Technology-support a ChipBlaster.

Po obrábění se 7 MPa bylo opotřebení 0,3mm a začínalo ve vzdálenosti 1,5 mm od špičky VBD (obr. 15.6 a obr. 15.8). Po obrábění s 2 MPa bylo znatelné opotřebení 0,55 mm a začínalo ve vzdálenosti 0,8 mm od špičky (obr. 15.7). Zde je také možno pozorovat mikrotrhliny ve vzdálenosti 3,5 mm od špičky VBD.

Z toho vyplývá, že při použití chladicí kapaliny o tlaku 2 MPa bude zasažena špička VBD dříve než u chlazením tlakem 7 MPa. U chlazení s tlakem 2 MPa je patrné, že se zde objevují první mikrotrhliny. To je způsobené lokálním přehřátím, nedostatečným chlazením a nízkým tlakem.

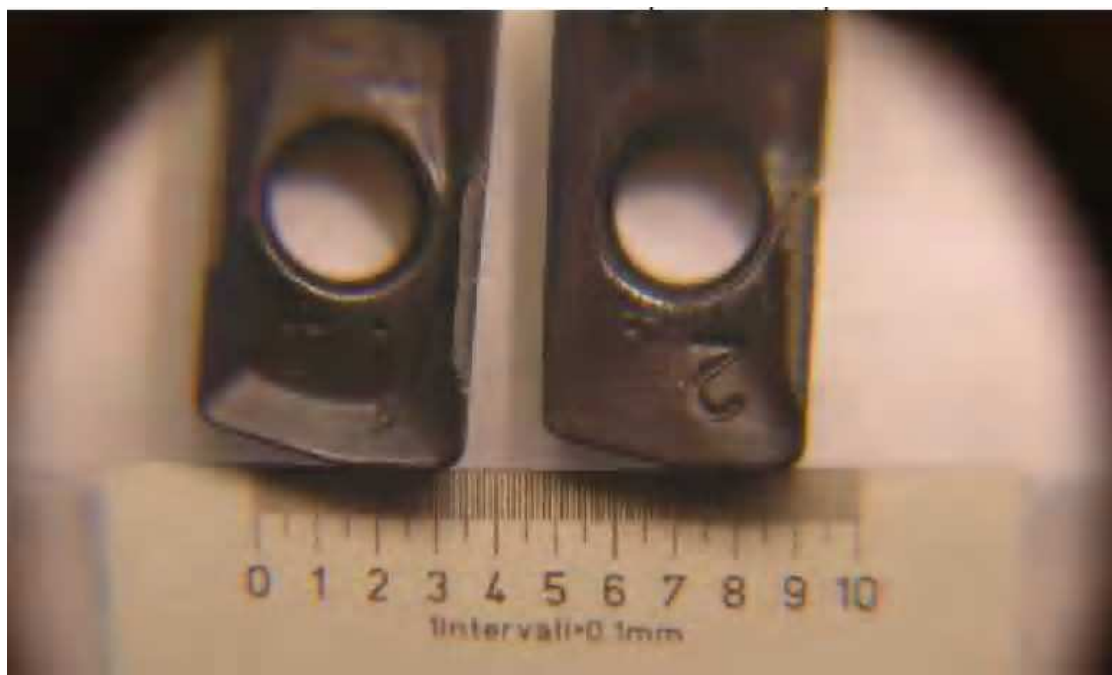
Testy ukázaly, že aplikace vysokotlakého chlazení se 7 MPa má příznivý vliv na životnost VBD a odplavování třísek z místa řezu v porovnání s chlazením o tlaku 2 MPa.



Obr. 15.5 Frézování drážky [7]



Obr. 15.6 Nalevo VBD po obrábění s tlakem chladicí kapaliny 2 MPa; napravo VBD po obrábění s tlakem chladicí kapaliny 7 MPa [7]



Obr. 15.7 Nalevo VBD po obrábění s tlakem chladící kapaliny 7 MPa; napravo VBD po obrábění s tlakem chladící kapaliny 2 MPa [7]



Obr. 15.8 Nahoře VBD po obrábění s tlakem chladící kapaliny 7 MPa; dole VBD po obrábění s tlakem chladící kapaliny 2 MPa [7]

Vliv vysokotlakého chlazení na tvorbu třísek

Tvar i velikost třísek byly při testu frézování drážky podobné (obr.15.11). U chlazení s nízkým tlakem (obr. 15.9) i vysokým tlakem (obr. 15.10) nebyl problém s utvářením třísek. Nebyly zaznamenány žádné problémy s odplavováním třísek z oblasti rezného prostředí.



Obr. 15.9 Třísky po obrábění s tlakem chladicí kapaliny 2 MPa [7]



Obr. 15.10 Třísky po obrábění s tlakem chladicí kapaliny 7 MPa [7]



Obr. 15.11 Porovnání třísek po obrábění (nalevo po obrábění s tlakem chladící kapaliny 2 MPa, napravo po obrábění s tlakem chladící kapaliny 7MPa) [7]

16 Vysokotlaká chladicí jednotka

16.1 Chladicí jednotka ChipBlaster JV10

Chladicí jednotka (obr. 16.1) obsahuje patentovanou, plně automatickou regulaci průtoku chladicí kapaliny v intervalu 12 až 38 l·min⁻¹ a nastavitelný tlak do 10,5 MPa. Použitelný je pro vrtání s nástrojem do průměru 25 mm. Ideální pro obráběcí stroje o výkonu do 18 kW, soustruhy s jednou hlavou a frézovací centra s kuželem 40. [7]

Pumpa ChipBlaster řady „JV“ automaticky dodává takové množství chladicí kapaliny, aby byl udržován stálý tlak. Všechny ostatní systémy jsou založeny na konstantním průtoku, který je vždy příliš velký nebo malý, což vede ke vzniku páry, tepla a krátké životnosti filtru. Zdvojené kompresní těsnění filtru, které je patentem firmy ChipBlaster, vyvinul nejúčinnější filtraci. Nový těsnicí uzávěr pytlového filtru dokonale chrání před znečištěním chladicí jednotku i samotný obráběcí stroj. Dále obsahuje vysokovýkonnou pístovou pumpu ChipBlaster, která je opět patentovaná.

Standardně dodávané mnohočetné přednastavení tlaku JV10 je již z výroby naprogramována tak, aby kromě přednastavených tlaků (2,5; 3,5; 5,25 a 7 MPa) umožnila nastavení libovolných hodnot tlaků do 10,5 MPa (u vysokotlaké varianty JVHP do 21 MPa). [7]

16.2 Standardní konfigurace jednotky JV10

Dostatečný objem chladicí kapaliny pod příslušným tlakem je dodáván vysokotlakou pístovou pumpou, která nasává kapalinu přivedenou přečerpávací pumpou z nádrže stroje do vestavěné nádrže o objemu 190 litrů. Odtud ji filtrační pumpa přivádí do filtrační nádoby a do sekundárního filtru, který je posledním stupněm před samotnou vysokotlakou pumpou. [7]



Obr. 16.1 Chladicí jednotka ChipBlaster JV10 [7]

Závěr

Cílem bakalářské práce bylo porovnat účinky nízkotlakého a vysokotlakého chlazení na procesech obrábění. Stávající technologie nízkotlakého chlazení vykazuje určité nedostatky, které se projevují na rychlém opotřebení nástrojů, horší jakosti obrobeného povrchu, vzniku přehřáté páry a zpětnému nalétávání třísek do místa řezu, které vede k poškození obrobku.

Pro eliminaci těchto vlivů byla navržena technologie vysokotlakého a velkoobjemového chlazení. V praxi se tato nová technologie projeví tak, že se nádrž na řeznou kapalinu, čerpadlo a rozvodové potrubí nahradí vysokotlakou chladicí jednotkou, filtrací a magnetickou separací třísek a odsavačem par. Pro ověření nové technologie byly navrženy řezné parametry a řezné nástroje, které jsou stejné pro nízkotlaké a vysokotlaké chlazení. Následně byly provedeny zkoušky obrábění v procesu vrtání a frézování. Cílem bylo porovnat opotřebení nástroje a utváření třísek.

V případě vrtání mělo vysokotlaké a velkoobjemové chlazení příznivý vliv jak na opotřebení nástroje, tak i na utváření třísek. Znamená to tedy, že se nemusí vrták často měnit nebo přebušovat. Nemusíme mít obavy, že by se vrtaný otvor zahltil třískami, což by způsobilo zlomení vrtáku, tak jak se stalo u nízkotlakého chlazení. Díky nízkému opotřebení nástroje v případě použití vysokotlaké chladicí jednotky můžeme zvýšit řeznou rychlost. Zvýší se tím i produktivita výroby.

V testu frézování mělo rovněž vysokotlaké a velkoobjemové chlazení dobrý vliv na opotřebení nástroje. Nástroj při použití vysokotlakého chlazení vykazoval menší opotřebení, čímž se prodlužuje jeho životnost. Utváření třísek bylo v obou případech chlazení obdobné.

Z testů tedy vyplývá, že vysokotlaké chlazení je nová, rychle se rozvíjející technologie, která zvyšuje produktivitu výroby, zvyšuje řezné rychlosti, zlepšuje jakost obrobené plochy, snižuje velikost opotřebení nástrojů a tím prodlužuje jejich životnost.

Dále bych chtěl poznamenat, že bych se chtěl nadále věnovat výzkumu v této oblasti. Chtěl bych porovnat jakost povrchu po obrobení pomocí zkoušek drsnosti povrchu a vliv vysokotlakého chlazení při obrábění v přerušovaném řezu.

Děkuji Ing. Jaromíru Adamcovi, Ph.D., z katedry obrábění a montáže VŠB – TU Ostrava za cenné a podnětné rady a připomínky při vypracování bakalářské práce a Vlastimilu Staňkovi za cenné informace, podklady a fotografie pořízené při srovnávacích zkouškách standardního a vysokotlakého chlazení. Dále bych chtěl poděkovat firmám Technology Support a Kovosvit Sezimovo Ústí, které se podílely na porovnávání a vyhodnocení zkoušek standardního a vysokotlakého chlazení.

Použité zdroje

- [1.] HUMÁR, Anton. *Technologie I, Technologie obrábění – část 1.*, studijní opory pro magisterskou formu studia , VUT Brno, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, 2003, 138 s.
- [2.] AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění - Kniha pro praktiky*. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cuttig - A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.
- [3.] DOBEŠ, Petr. *Prodloužení životnosti řezných kapalin*. MM průmyslové spektrum, listopad 2002, č 11, kód článku 021189, s.32.
- [4.] NOVÁK, Z. *Vysokotlaké chlazení pro obrábění*. MM průmyslové spektrum, říjen 2002, č 10, kód článku 021096, s. 56.
- [5.] ZEMAN, P. *Účinek řezného prostředí na trvanlivost bříty*. MM průmyslové spektrum, říjen 2005, č 10, kód článku 051224, s. 36.
- [6.] CEJNAROVÁ, Andrea. *Vysoký tlak šetří energii*. Technický týdeník, duben 2006, č 8.
- [7.] STAŇĚK, Vlastimil. *Produktivita pod tlakem – Porozumět vysokotlakému chlazení* [CD-ROM]. Praha: Technology support, 2006 [cit. 2008 -11-12]. Adresář: /chlazení /Produktivita pod tlakem.ps.
- [8.] STAŇĚK, Vlastimil. *Produktivita pod tlakem – Porozumět vysokotlakému chlazení* [CD-ROM]. Praha: Technology support, 2006 [cit. 2008 -11-12]. Adresář: /chlazení /úvod vysokotlakého chlazení.avi.
- [9.] STAŇĚK, Vlastimil. *Produktivita pod tlakem – Porozumět vysokotlakému chlazení* [CD-ROM]. Praha: Technology support, 2006 [cit. 2008 -11-12]. Adresář: /chlazení /vrtání s vysokotlakým chlazením.avi.
- [10.] *Nástrojové držáky ISCAR pro chlazení vysokým tlakem*. Technický týdeník, únor 2006, č 3.

Elektronické zdroje

- [11.] Technický týdeník. *Nástrojové držáky ISCAR pro chlazení vysokým tlakem*. [on-line]. [cit.2008-11-12]. Dostupné z: <http://www.techtydenik.cz/detail.php?action=show&id=3751&mark=> >.